Revista CIENCIA **Vol.19, 3, 363-387 (2017)**

STRUCTURAL BEHAVIOR OF BUILDINGS AFFECTED BY THE 2016 EARTHQUAKE IN MANTA. FIRST PART

R. Aguiar [1,2], K. Andrango [1], A. Araujo [1], J. Aroca [1], M. Arostegui [1], A. Burbano [1], L. Bustamante [1], D. Calderón [1], D. Cando [1], A. Cevallos [1], M. Chamorro [1], K. Chipantiza [1], D. Criollo [1], J. Erazo [1], S. Estacio [1], K. Gaibor [1], J. Guacho [1], J. Hidalgo [1], D. Luje [1], E. Morejón [1], L. Nacevilla [1], J. Rueda [1], H. Calderón [1]

[1]Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. General Rumiñahui s/n Valle de los Chillos, Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM.

Received: July 2017. Accepted: September 2017

ABSTRACT

This work presents the performance of 15 structures of reinforced concrete and 1 of steel, located in the city of Manta, during the earthquake of April 16, 2016, magnitude 7.8; for this purpose, an analysis was carried out with the earthquake spectrum obtained in the city.

The analysis was performed considering a spatial model with one degree of freedom per floor; was found: the vibration period, the maximum lateral displacement, floor drift and global drift of the system with multiple degrees of freedom. Subsequently, an equivalent system of one degree of freedom was obtained to obtain the maximum lateral displacement and the participation factor that relates the maximum displacement of the system with multiple degrees of freedom with respect to the displacement found in the equivalent system.

Keywords: Ecuadorian earthquake of 2016. Spectral Method. System of one equivalent degree of freedom.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS AFECTADOS POR EL TERREMOTO DE 2016 EN MANTA. PRIMERA PARTE

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desempeño que tuvieron 15 estructuras de hormigón armado y 1 de acero, ubicadas en la ciudad de Manta, durante el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8; para ello se realizó un análisis con el espectro del terremoto, obtenido en la ciudad.

El análisis se realizó considerando un modelo espacial con un grado de libertad por piso; se encontró: el período de vibración, el desplazamiento lateral máximo, derivas de piso y deriva global del sistema con múltiples grados de

libertad. Posteriormente, se encontró un sistema equivalente de un grado de libertad para obtener el desplazamiento lateral máximo y el factor de participación que relaciona el desplazamiento máximo del sistema con múltiples grados de libertad respecto al desplazamiento encontrado en el sistema equivalente.

Palabras Claves: Terremoto de Ecuador de 2016. Método Espectral. Sistema de un grado de libertad equivalente.

1. INTRODUCCIÓN

El 16 de abril de 2016, cambió la vida de muchas personas que perdieron a sus seres queridos, a las construcciones que habían logrado edificar con bastante sacrificio, a las pequeñas y moderadas empresas que tenían. Pero paralelamente el Ecuador fue el mejor laboratorio del mundo donde se pudo ver el desempeño de las estructuras durante el terremoto.

Se ensayaron miles y miles de estructuras y es obligación de la academia evaluar sus resultados; es una tarea muy larga que va a demandar mucho tiempo pero que se la debe realizar al menos en una minúscula parte entender más sobre algunos parámetros que definen el comportamiento estructural.

Uno de los parámetros que más se utiliza en el análisis sísmico de las estructuras es la deriva máxima de piso que relaciona el desplazamiento relativo de piso con respecto a la altura de piso. Godínez y Tena (2017); Nangullasmu y Tena (2017); Tena *et al.* (2017).

El desarrollo de este artículo va a permitir conocer el significado de tener una deriva de piso del 1 %, por colocar una cifra, se sabe cómo quedó la estructura después del terremoto y ahora se va a calcular esa deriva, de esta manera el Proyectista Estructural puede tomar decisiones sobre la deriva máxima que espera en su cálculo estructural, en base a las experiencias vividas en el terremoto de 2016.

La deriva de piso es el mayor valor de las derivas de piso que se obtienen en cada uno de los pisos; pero existen estructuras de Hormigón Armado como las del Hospital Rodríguez Zambrano, en que construyeron un piso adicional con una estructura de lámina delgada de acero, en el último piso; teniendo de esta forma un piso muy flexible en el tope del edificio lo que origina que tengan derivas de piso muy altas (más del 2 % en ese piso) de tal manera que se obtiene un valor que puede llevar a tener una mala interpretación del desempeño de las estructuras, por lo que en este estudio se evaluó sin la ampliación. Aguiar *et al.* (2016,1).

En efecto en los tres bloques estructurales, principales del Hospital Rodríguez Zambrano, las derivas de piso son muy altas, por el piso flexible, construido sin dirección técnica, pero no se observó daño en la estructura de hormigón armado; el piso flexible tuvo daño a nivel de soldadura de las uniones. Esta situación conduce a pensar que es mejor trabajar con la deriva global de la estructura que relaciona el desplazamiento lateral máximo con la altura total del edificio, ahí se tienen valores más bajos.

Por cierto una de las causas del mal comportamiento de las estructuras fue el haber construido pisos adicionales, que no estuvieron contemplados en el cálculo estructural. Se suele decir solo voy a construir con acero, que es muy liviano, en una parte de la losa y no pasa nada. La verdad es que se incrementa la carga y en la ampliación realizada se tiene un piso débil, que es muy flexible.

Cuando se realiza un análisis sísmico estático se determina el período de vibración de una estructura con fórmulas muy elementales, una de ellas es considerar que el período es igual a 0.11 por el número de pisos. Ahora se desea saber que tan bien resulta el valor de 0.11 y de paso ver si las estructuras que se construyen son rígidas o flexibles. Si el valor es menor a 0.11, tendremos estructuras rígidas y si son mayores estamos hablando de estructuras flexibles. En este artículo se determina un parámetro λ, tal que:

$$T = \lambda n \tag{1}$$

Donde T es el período fundamental de vibración; n es el número de pisos y λ se obtiene dividiendo el período de vibración que se halla en el método espectral del sistema con múltiples grados de libertad para el número de pisos. Rodríguez (2015).

El Método Espectral es muy utilizado a nivel mundial, a pesar de que es aproximado pero reporta resultados satisfactorios; en contraste con el Análisis no Lineal que es más exacto pero bastante complejo de calcular. Entre estos dos extremos se tiene el Método del Espectro de Capacidad pero está asociado a un sistema de un grado de libertad.

En el Método del Espectro de Capacidad, se halla el punto de desempeño que es la intersección entre el Espectro de Capacidad de la Estructura y el Espectro de Demanda. Este punto de desempeño reporta el desplazamiento lateral pero en un sistema de un grado de libertad y para encontrar el desplazamiento lateral máximo en el sistema de múltiples grados de libertad se puede utilizar la fórmula del FEMA 356 (2000) o la de Miranda (2000).

Se denomina, Γ factor de participación a la relación entre el desplazamiento máximo en el tope del sistema de múltiples grados de libertad D_t, con relación al desplazamiento máximo en el sistema de un grado de libertad d_t.

$$\Gamma = \frac{D_t}{d_t} \tag{2}$$

En este trabajo, también se determina el valor de Γ para los edificios que se analizan. Por cierto FEMA 356 indica que se considere $\Gamma = 1$, para estructuras de 1 piso; 1.2 para 2 pisos; 1,3 para 3 pisos; 1.4 para 4 pisos y 1.5 para 5 o más pisos. Va a resultar interesante ver los resultados que se hallan en este artículo sobre el factor de participación.

En resumen, en este trabajo se va a realizar el análisis sísmico en sentido transversal y en sentido longitudinal de cada una de las estructuras, ante la componente E-W y N-S del espectro obtenido en Manta del terremoto de 2016, ver figura 1. Se realiza el análisis con dos modelos, el uno considerando un grado

de libertad por planta, ubicado en el centro de masa da cada piso y el otro modelo es en una estructura equivalente de un grado de libertad.

En el modelo de un grado de libertad por planta se determina: el período fundamental de vibración; el desplazamiento máximo D_t; la deriva máxima de piso γ, y la deriva global γ_g

$$\gamma = \frac{d_i - d_{i-1}}{h_i} \tag{3}$$

$$\gamma_g = \frac{D_t}{H} \tag{4}$$

Donde d_i, d_{i-1}, son los desplazamientos laterales en los pisos i, e $i-1$; h_i es la altura del piso i; H es la altura total del edificio. Las restantes variables han sido ya indicadas.

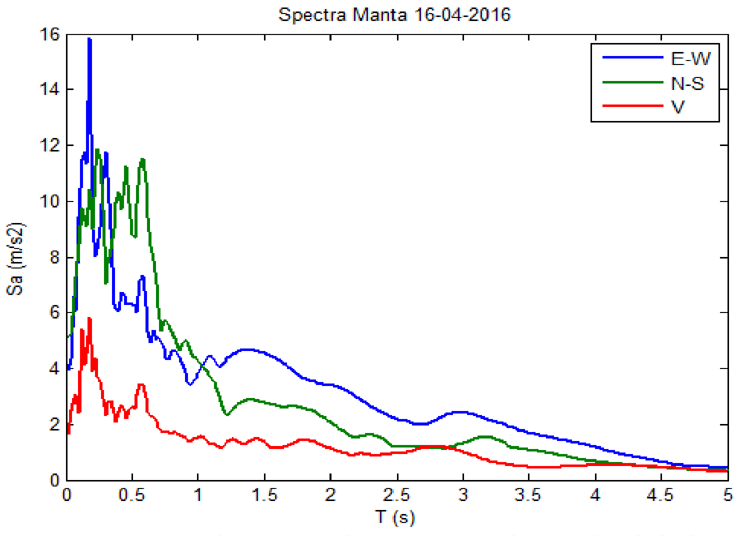


Figura 1 Espectros de Manta, del terremoto del 16 de abril de 2016.

Con relación a los espectros indicados en la figura 1, se debe indicar que los registros fueron obtenidos, muy cerca de la Playa *Murciélago*, en un perfil de suelo tipo C.

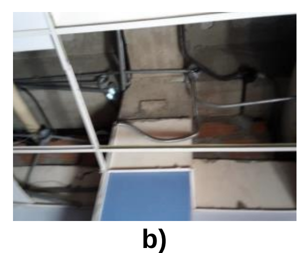
De cada uno de los edificios analizados, se presenta una ficha técnica que resume el desempeño que tuvieron durante el terremoto de 2016. En la primera parte consta “Ubicación” se refiere a la ubicación que tiene la construcción dentro de una manzana. Si ocupa toda la manzana o no hay otra edificación se coloca “libre”. Se vio en Portoviejo que los edificios que más fallaron eran “esquineros” debido a que tuvieron problemas de torsión en planta por ser edificios abiertos. Aguiar y Mieles (2016).

2. FICHA TÉCNICA EDIFICIO BANCO CENTRAL

<table>
<tr><th>Material</th><th>Nº de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural</td><td>10</td><td>Más de 10</td><td>Libre</td><td>Avenida Malecón</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Se compone de una solo estructura, el subsuelo, planta baja y los dos mezzanine constan de 6 ejes en el sentido X, y 7 ejes en el sentido Y; y las 6 plantas altas constan de 4 ejes en el sentido X y sentido Y.</td><td colspan="3">Esta estructura tuvo daños extensivos en la mampostería de todas las plantas en la zona de la escalera, también en la mampostería que se encontraba en la estructura y cielos rasos. Columnas tuvieron daño a nivel de recubrimiento y hormigón, producto de las altas derivas obtenidas en el desempeño ante espectro sísmico obtenido en Manta durante el terremoto del 16 de Abril y ante el espectro de la NEC-15.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3">En cuanto a la mampostería, existe gran afectación producto de los desplazamientos laterales observados, por lo que es necesario que se intervenga en ella. Se recomienda el uso de un sistema de paredes más livianas a fin de aligerar las cargas y no poner en riesgo la vida de los ocupantes. En el caso de que se construyan paredes de mampostería, estas deben ser debidamente confinadas para mejorar su comportamiento sísmico.</td></tr>
</table>



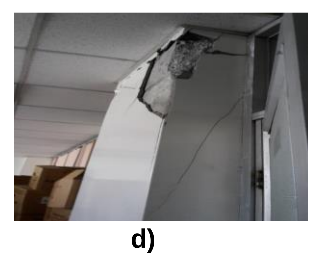
a)



b)



c)



d)

Figura 1. Edificio Banco Central; **a)** Daño en parte de la mampostería debido a alta flexibilidad de estructura; **b)** Desprendimiento en ciertas áreas del cielo raso; **c)** Estado de la mampostería en el área de la escalera; **d)** Desprendimiento de enlucido y hormigón en cabeza de columna. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1).

3. FICHA TÉCNICA EDIFICIO CORPORACIÓN ADUANERA DEL ECUADOR (CAE)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural</td><td>3</td><td>< 10</td><td>Diagonal al Museo Cultural de Manta</td><td>Playa murciélago, sector el Malecón.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Columnas circulares de 70cm de diámetro, las luces que cubren estas columnas son de 8 metros, 4 ejes en sentido transversal y 4 en longitudinal, vigas exteriores de 0.40 por 1.00m y vigas interiores de 0.40 por 0.60.</td><td colspan="3">La estructura tuvo un buen comportamiento sísmico, acorde a la filosofía de las normativas sísmicas que indican que ante un terremoto se admite daño no estructural y es más se puede esperar cierta incursión de las vigas en el rango no lineal; ventajosamente esto no sucedió en el Edificio del CAE, solo tuvo daño en mampostería.</td></tr>
<tr><th colspan="5">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="5">Se tiene columna circular a la que llega una pared recta, en la unión de estos dos elementos se tienen fisuras en el primer piso, que se debe a la unión de dos materiales con diferente rigidez, uno muy rígido como el hormigón de las columnas y otro menos rígido como las paredes de ladrillo.</td></tr>
</table>

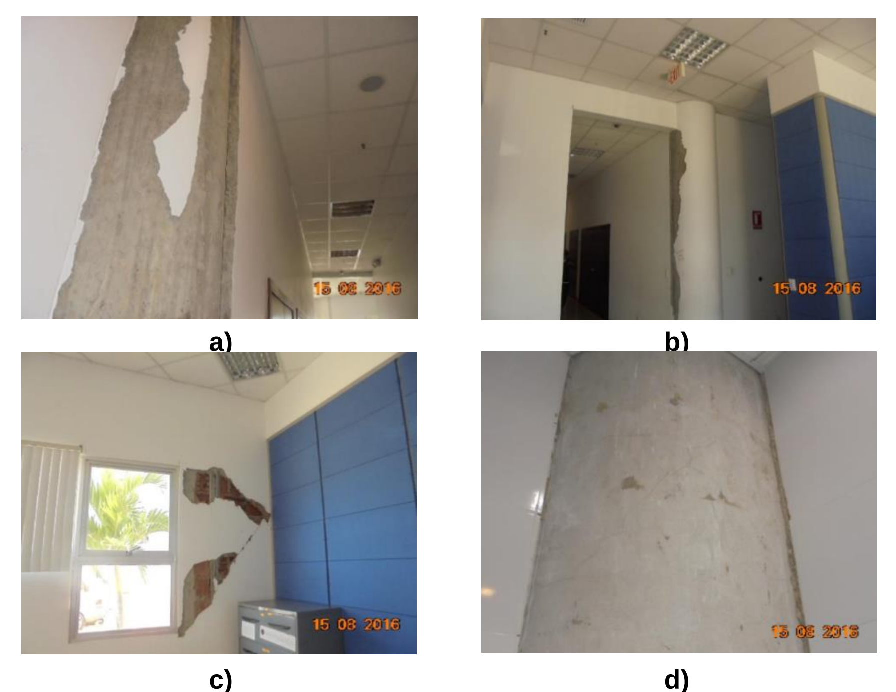


Figura 2 a) Caída de enlucido en columnas circulares; y **b)** Enlucido muy grueso; **c)** Fisuras en recubrimiento de columna; **d)** Daño en Mampostería. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1).

4. FICHA TÉCNICA EDIFICIO CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CNT)

Material	**# de Pisos**	**Año**	**Ubicación**	**Dirección**
Hormigón Armado	3	2011	Libre	Calle 11 entre Malecón y Av. 1era.
Tipología		**Falla**		
• Las columnas de la planta baja son todas de 50/60 cm, en el segundo piso son de 40/50 cm, y se mantienen en el tercer piso. Las vigas del primer piso se estima que son de 50/30 cm, porque son vigas banda y la altura de la losa es de 30 cm; en el segundo y tercer piso se estima que son de 40/25 ya que las losas de esos pisos son de 25 cm. Finalmente se debe indicar que la altura de los entrepisos es de 3.55 m. • La estructura está conformada por siete pórticos en sentido transversal y seis pórticos en sentido longitudinal por lo cual su comportamiento es similar en ambos sentidos.		En los pisos 2 y 3 se tiene una discontinuidad que generó daño en las paredes perpendiculares a la fachada. En la planta baja se produjo daño en mampostería y no hay daño en elementos estructurales. No se reforzó la estructura, únicamente se reparó pero en forma inadecuada la mampostería dañada, prueba de ello se indica en las fotografía inferiores de la figura 3 en que construyen un dintel sin anclar adecuadamente las varillas longitudinales a las columnas.		
Cimentación		**Observaciones**		
Se estima vigas de Cimentación sobre losa.		Equipos muy pesados en el Segundo Piso. Estructura no fue reforzada.		

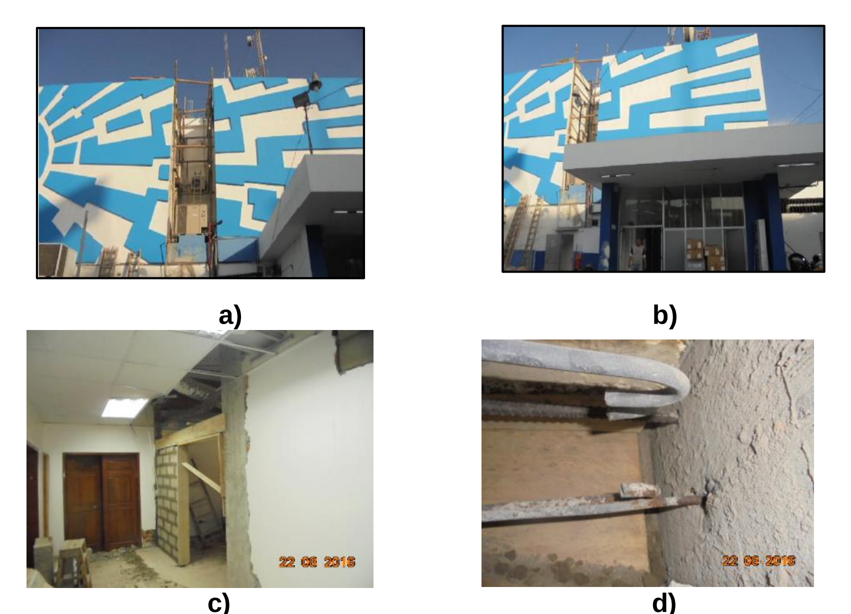


Figura 3 a) Discontinuidad de las losas superiores; b) Ingreso lateral; c) Reparación de mampostería (con el mismo material de bloque y sin columnetas; d) Dintel sin anclaje de hierros longitudinales a las columnas. Dintel corresponde a la fotografía anterior. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1).

5. FICHA TÉCNICA EDIFICIO MUSEO CENTRO CULTURAL MANTA

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural</td><td>7</td><td>Más de 10</td><td>Interior</td><td>Av. Malecón (Barrio Córdova).</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Vigas y columnas, 7 ejes longitudinales y 5 ejes transversales, consta con un bloque separado en la entrada del edificio con 7 columnas circulares. Muros de contención en subsuelos. Luces promedio de 7 metros con una luz máxima en el centro de 14m.</td><td colspan="3">Daño en mampostería. El mayor daño se tuvo en el área del ascensor como se aprecia en la fotografía superior derecha. Las vigas del subsuelo presentan fisuras muy leves, probablemente tenían antes del sismos. Edificación no fue reforzada.
Paredes sin elementos confinantes.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Directa, losa de cimentación.</td><td colspan="3">La estructura se halla sobre un perfil de suelo tipo C. La estructura tiene un subsuelo y como tal existen muros de corte en su contorno; hay una planta baja y 5 pisos altos. Antes funcionaba un Banco y como tal tiene muros de corte que ayudaron al buen desempeño estructural.</td></tr>
</table>

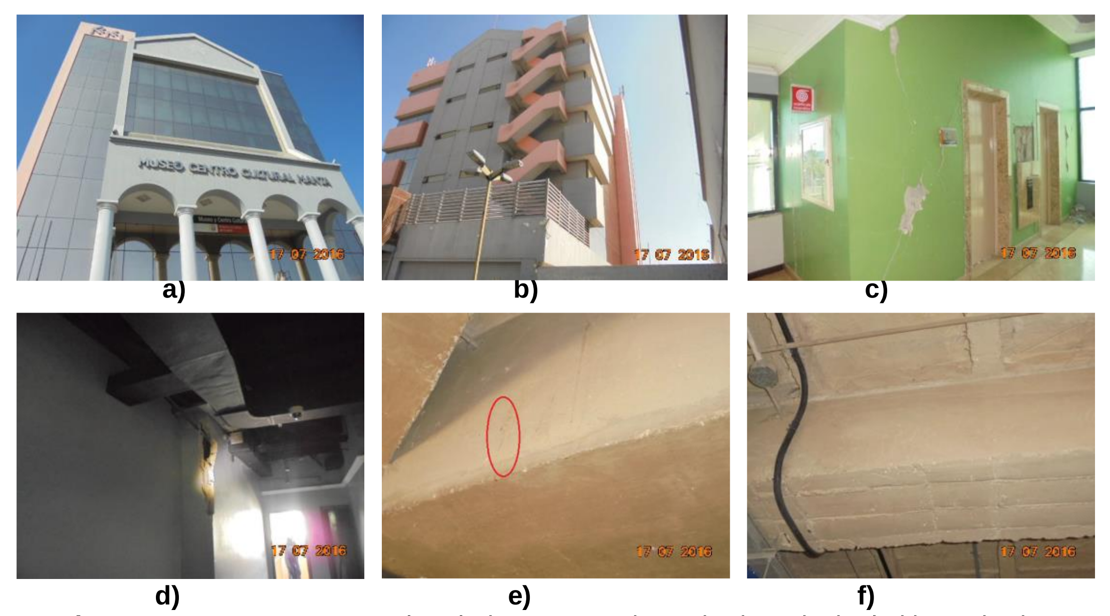


Figura 4 Museo Centro Cultural de Manta; a) Fachada Principal; b) Fachada Posterior; c) Daño en mampostería en el área del ascensor en el primer piso alto; d) Daño en intersección de mampostería; e) Vigas ortogonales en presencia de fisura en viga principal con peralte de 90 cm, en subsuelo; f) Viga Secundaria sin fisuras. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1)

6. FICHA TÉCNICA EDIFICIO UNIDAD DE VIGILANCIA COMUNITARIA (UVC)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Estructura de acero A57 (grado 50). Columnas “H” y vigas “I”</td><td>4 pisos y un tapa grada.</td><td>5</td><td>Libre</td><td>Calle 304 entre Av. 113 y Av. 4 de Noviembre.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">• La sección transversal de vigas es de 530/200/15/10 mm, y las columnas de 466/280/18/10. (d,b,tf,tw)
• La losa de la planta baja tiene dos voladizos, en el sentido transversal de 2.65m, el más grande y de 1.5m, el más pequeño.
• La estructura presenta nueve pórticos en sentido transversal y tres pórticos que luego pasan a ser dos en sentido longitudinal. Poca redundancia en sentido longitudinal.</td><td colspan="3">• Esta estructura tuvo daño extensivo en la mampostería de la planta baja por que la estructura de acero es flexible y se colocó una mampostería de bloques, sin elementos confinantes.
• El daño se concentró exclusivamente en la planta baja del bloque de vivienda, la causa principal fue la ausencia de columnetas para confinar la mampostería, en las fachadas donde se tiene voladizo.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Directa (sin pilotes) con plintos aislados.</td><td colspan="3">• Las columnas de acero tipo “I” fueron rellenadas con hormigón y enlucidas en sus cuatro contornos para dar la impresión que se trata de columnas de hormigón armado.
• Estructura con conexión precalificada N. 3 del AISC 2016, pernos en ala y alma; funcionó perfectamente.</td></tr>
</table>

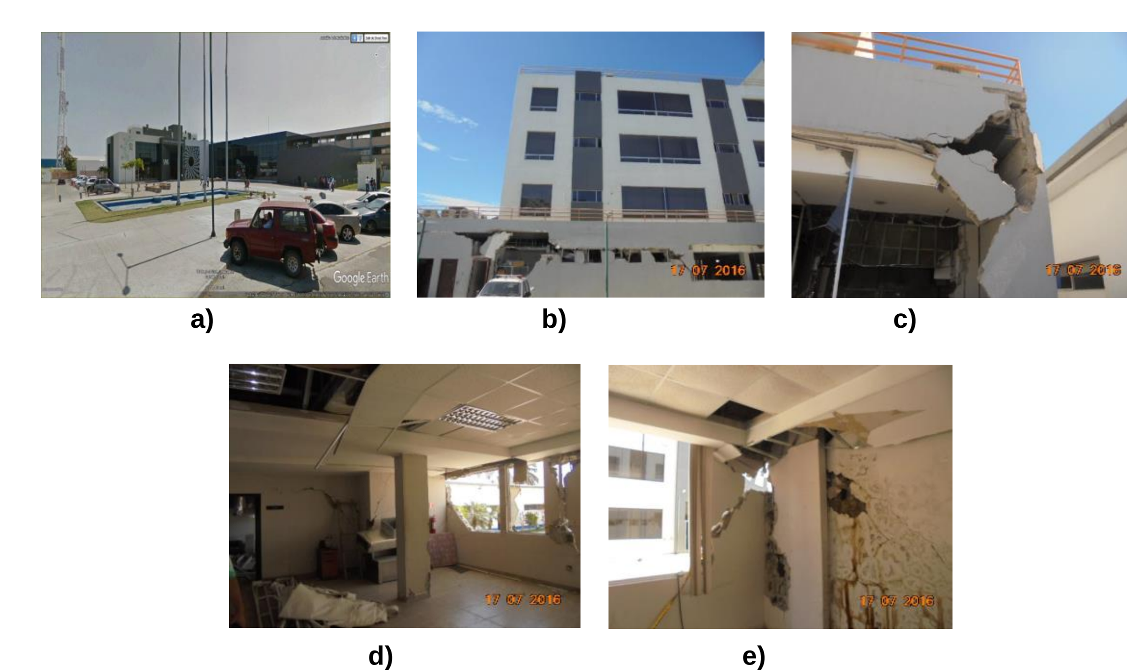


Figura 5 Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta a) Vista general b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal de ingreso; c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior. d) Columnas de acero rellenas de hormigón; e) Falta de elementos confinantes. Fuente: Aguiar *et al*. (2016,1)

7. FICHA TÉCNICA EDIFICIO HOSPITAL RODRÍGUEZ ZAMBRANO (BLOQUE 1)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural y acero</td><td>3</td><td>Más de 15</td><td>Esquinera</td><td>Barrio Santa Martha, Calle 12 y Avenida 38 vía a san Mateo</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Columnas y vigas descolgadas, 4 ejes de columnas en sentido corto, y 3 ejes en sentido longitudinal con luces entre 5 y 6 m. Es estructura mixta por la presencia de estructura de lámina delgada, no contemplada en Proyecto inicial.</td><td colspan="3">• Daño entre leve y extensivo en mampostería.
• Daño en mampostería que trabajó como columna corta, ver figura 6 d. En la figura 6 c, se aprecia desprendimiento de enlucido de losa.
• En la fachada lateral existe la presencia de la denominada columna corta, ver fotografía 6 b.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Seguramente vigas de cimentación.</td><td colspan="3">Estructura Proyectada para dos pisos de Hormigón Armado pero construyeron un piso adicional en acero de lámina delgada, ver figura 6 a.</td></tr>
</table>

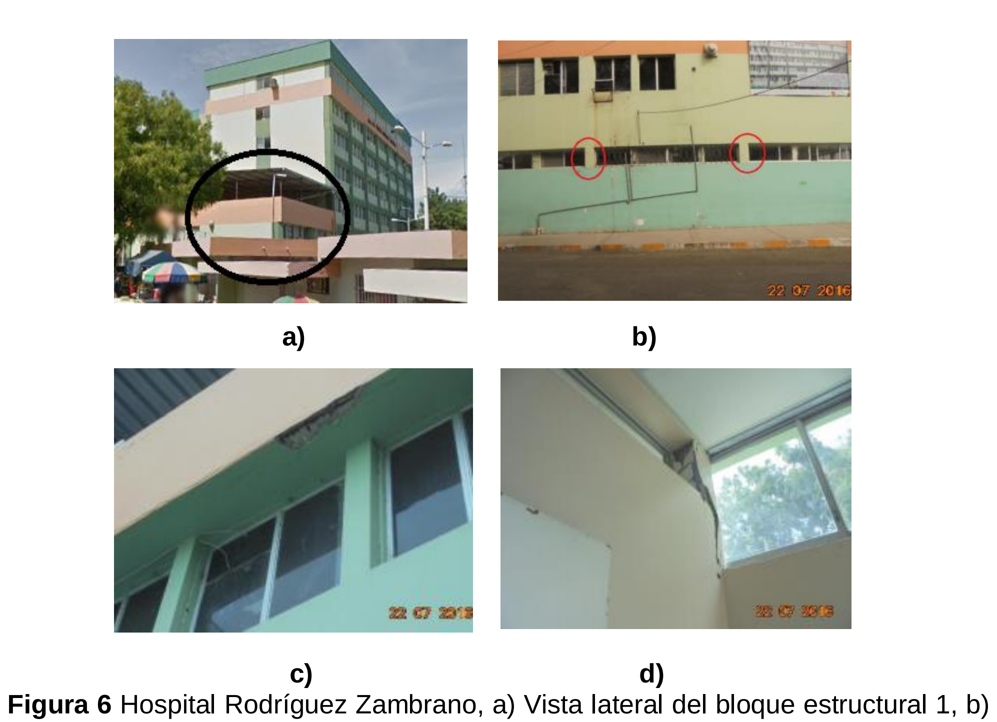
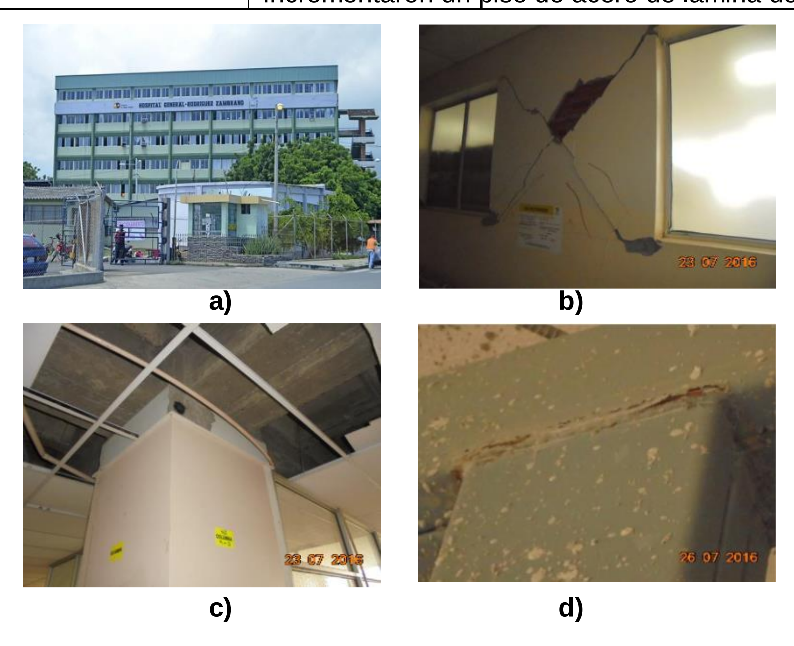


Figura 6 Hospital Rodríguez Zambrano, a) Vista lateral del bloque estructural 1, b) Problema de columna corta. c) Desprendimiento de enlucido que permite observar que la armadura de losa no tiene recubrimiento, d) Daño en mampostería que trabajo como columna corta. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1)

8. FICHA TÉCNICA EDIFICIO HOSPITAL RODRÍGUEZ ZAMBRANO (BLOQUE 2)

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón y acero de lámina delgada.	7	Más de 15	Interior	Barrio Santa Martha, Calle 12 y Avenida 38 vía a San Mateo
Tipología		**Falla**		
Vigas y columnas de Hormigón Armado. Estructura conformada por 8 ejes de columnas en el sentido longitudinal y 4 en el sentido transversal, vigas son descolgadas. Las luces en el sentido largo son de 6.40m y la altura de entrepiso de 3.60.		• Planta baja y primer piso daño moderado y extensivo en mampostería por deficiencias constructivas (paredes salientes) • Daño leve en mampostería en los pisos intermedios debido a derivas mayores a 0.6%, a pesar de que existe un cambio de sección en vigas (segunda planta alta) no se presenta daño en elementos estructurales, ni fisuras en la losa. • La mampostería del último piso fue derrocada debido a que se presentó gran daño.		
Cimentación		**Observaciones**		
Seguramente vigas de cimentación		Estructura diseñada para 6 pisos de Hormigón Armado pero incrementaron un piso de acero de lámina delgada.		



a) b)

c) d)

Figura 7 a) Bloque Estructural 2 del Hospital Rodríguez Zambrano; b) Rotura diagonal en paredes que unen dos ventanas; c) Nudo interior del tercer piso, elementos estructurales sin daño; **d)** Daño en la soldadura unión viga-columna último piso, se aprecia que son perfiles doble G. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1).

9. FICHA TÉCNICA EDIFICIO HOSPITAL RODRÍGUEZ ZAMBRANO (BLOQUE 3)

Material	**# de Pisos**	**Años**	**Ubicación**	**Dirección**
Hormigón Estructural y perfiles de acero	7	Más de 15	Interior	Barrio Santa Martha, Calle 12 y Avenida 38 vía a san Mateo
Tipología	**Falla**			
Vigas y columnas de H.A. 7 ejes de columnas en el sentido longitudinal con luces de 5.40 m del eje 4 al 7 y disminuyen en los ejes del 1 al 3; en el sentido transversal 7 ejes con luces de 6.40 m	Estructura sin daño en los elementos estructurales (vigas y columnas). Estructura con daño entre moderado y extensivo en los elementos no estructurales.			
Cimentación	**Observaciones**			
Seguramente vigas de cimentación.	Estructura irregular en planta con forma de "T", e irregular en elevación de Hormigón Armado. Incrementaron un piso con acero de lámina delgada.			

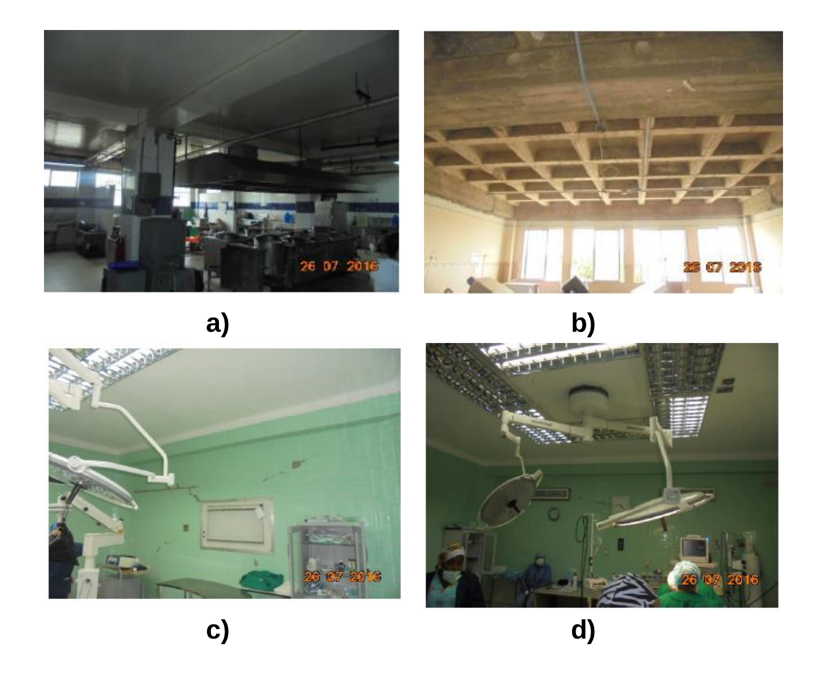


Figura 8 Bloque Estructural 3 de Hospital Rodríguez Zambrano; a) Columnas y vigas descolgadas sin daño; b) Losa nervada en dos direcciones y vigas descolgadas sin daño; c) Rajaduras en Paredes; d) Rajadura en paredes del área de quirófanos. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,1).

10. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE 1 FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN)

<table>
<tr><th>Material</th><th>Número de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural con cubierta de acero</td><td>3</td><td>Más de 15</td><td>Esquinero</td><td>Ciudadela Universitaria, calle 12 y vía San Mateo</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Distribución de columnas que cuentan con luces de 3.5 m (en promedio), con columnas de 40x40 cm; las vigas correspondientes al primer y segundo piso tiene una sección de 35x55 cm, para el tercer piso las vigas son de 30x35 cm. Por otra parte en el último piso a pesar de existir varias vigas en el sentido X se ha colocado una cubierta apoyada sobre cerchas de varillas de 8mm</td><td colspan="3">Daño en pie de algunas columnas de Hormigón Armado de primer y segundo piso.
Se observa rajaduras en la segunda y tercer planta de algunas paredes de ladrillo macizo, que atraviesan todo el ancho de la pared. Daño entre moderado y extensivo en mampostería
Existe problemas de suelos, existe un desplazamiento lateral hacia la calle de la estructura, consecuencia de este movimiento del suelo se da la separación de la junta de construcción, ver figura 9 b.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observación</th></tr>
<tr><td colspan="2">Existencia de arcilla expansiva que han dado problemas a las estructuras</td><td colspan="3">Armadura longitudinal de columnas exteriores con alto grado de corrosión.</td></tr>
</table>

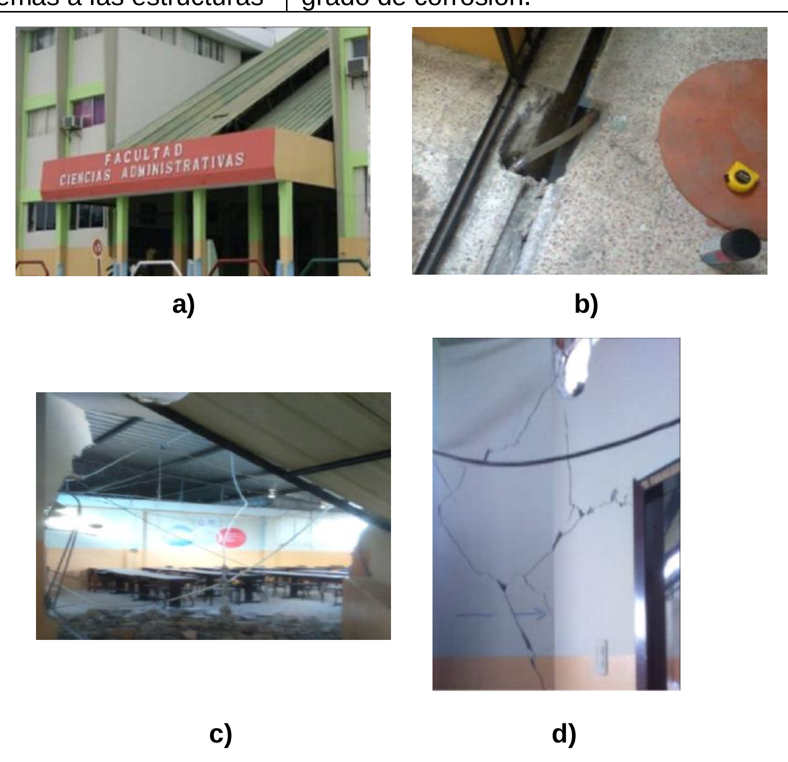


Figura 9 a) Fachada principal **b)** Desplazamientos de los bloques estructurales **c)** Caída del cielo raso en el tercer piso **d)** Rajaduras en paredes de la planta baja. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,5).

11. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE 1 POSGRADOS)

Material	# de pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	4	< 10	Esquinera	Dirección: Av. Circunvalación - Vía a San Mateo Manta

Tipología	Falla
Bloque 1 de Postgrados ULEAM las vigas son continuas en todos los ejes con excepción del mezzanine; las vigas son descolgadas en ambos sentidos. Losa alivianada de 25 cm. de espesor.	Daño localizado en una viga del mezzanine, ver figura 10 d. Daño entre moderado y extensivo en mampostería; desprendimiento de cielo raso. Colapso de paredes del subsuelo ya que no existía elementos confinantes. La losa presenta una inclinación producto del deslizamiento del suelo, que tuvo antes del sismo.

Cimentación	Observaciones
Seguramente vigas de cimentación.	El edificio de Post Grado de la ULEAM, está conformado por tres bloques estructurales, el que se ha analizado es el de ingreso, ver figura 10 a.

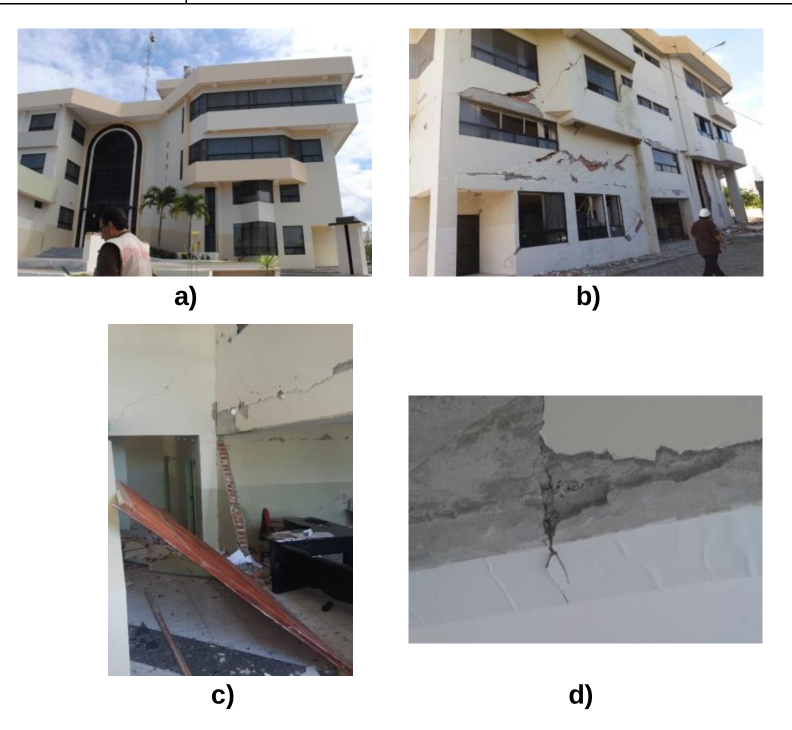


Figura 10 a) Estructura antes del Terremoto, se aprecian los 4 pisos del Bloque 1 a la derecha de fotografía; b) Daño en Mampostería c) Colapso de mampostería en subsuelo d) Falla en viga de mezzanine. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,2).

12. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE 2 POSGRADO)

Material	**# Pisos**	**Años**	**Ubicación**	**Dirección**
Hormigón Armado	3	< 10	Interior	Av. Circunvalación - Vía a San Mateo Manta - Manabí - Ecuador
Tipología		**Falla**		
Vigas y columnas continuas, 3 ejes en el sentido corto (8,80m), 4 ejes en el sentido largo (12,40m).Las columnas de la planta baja del pórtico 1 y 2 tienen una altura distinta al pórtico3 y 4 debido a la existencia de un auditorio. Columnas de 60/55, 40/50 y 45/60. Vigas de 40/65 cm, en todos los pisos. Estructura bastante rígida.		Daño en mampostería y caída de plafones. El mayor daño en la mampostería se tiene en el Auditorio, debido a que son paredes demasiado altas (alrededor de 5 m) fueron construidas sin elementos confinantes. En los pisos superiores existe daño moderado en la mampostería. Pero es importante destacar que no existe daño en los elementos estructurales, llámense estos: vigas, columnas, losa.		
Cimentación		**Observaciones**		
Seguramente vigas de cimentación.		Estructura se halla cerca de lo que algún día fue una quebrada que ha sido rellenada. Luego se tiene hundimientos del suelo.		

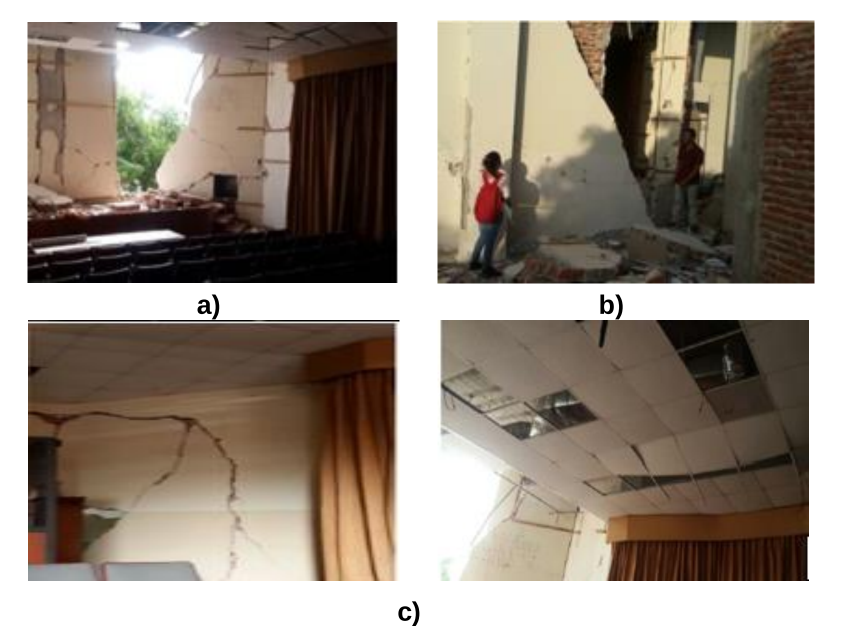


Figura 11 Bloque Estructural 2 de Post Grado; a) Daño extensivo en paredes de Auditorio; b) Vista exterior de la misma pared; c) Rajaduras en pared considerable y caída de plafones. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,3).

13. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE 2 FACULTAD DE ECONOMÍA)

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Estructural	**3**	Menos de 5	Interior	Av. Circunvalación, Manta, Ecuador
Tipología		**Fallas**		
Vigas y columnas; 4 ejes de columnas en sentido largo con dimensiones de 35x35 en los 2 primeros pisos y de 30x30 en el tercer piso, teniendo 7 ejes de columnas en el sentido largo, sus vigas son de sección variable, en los volados se tiene vigas de 30x55, mientras que en lo demás consta de vigas de 30x50.		En la figura 12 a, se observa la falla denominada: columna-corta, sin daño en el edificio analizado: Tuvo daño a nivel de mampostería entre moderado y extensivo; en la figura 12 b, se ve daño moderado; en cambio en la figura 12 c, se ha votado la pared por daño extensivo. En la figura 12 d, se observa daño en una columna de Hormigón Armado.		
Cimentación		**Observaciones**		
Plintos aislados.		Estructura irregular en planta, construida con hormigón no tan bueno pero no tuvo daño estructural a más del indicado en la figura 12 d. Daño entre moderado y extensivo en mampostería		

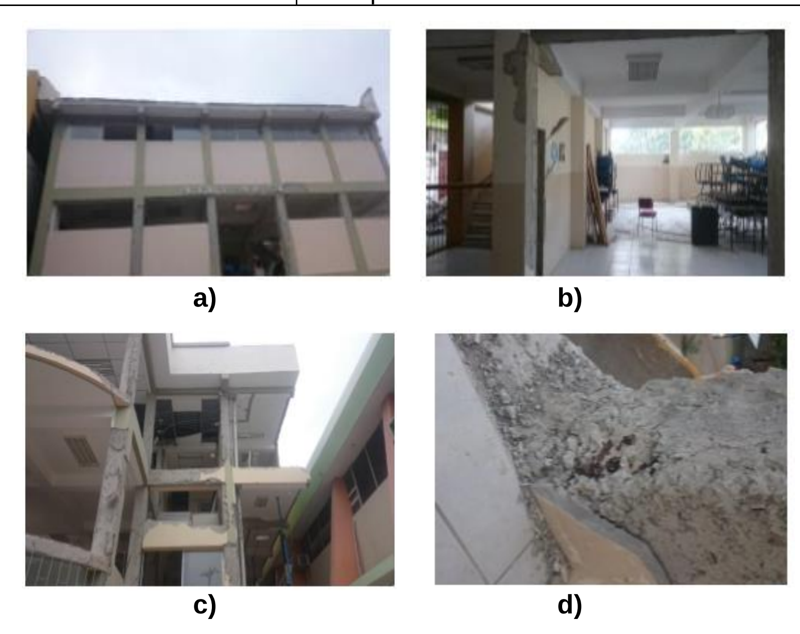
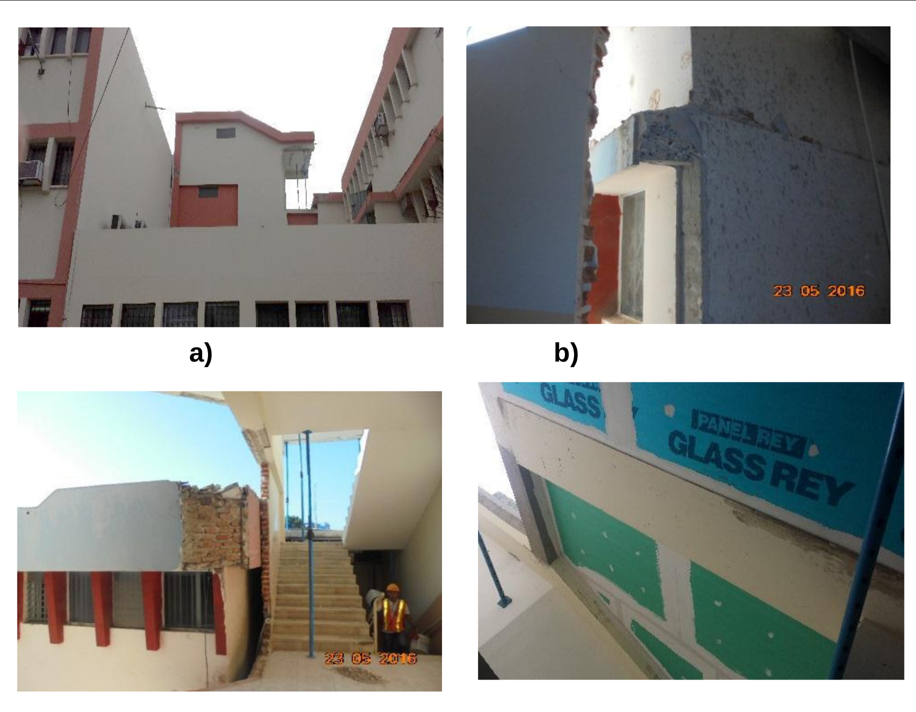


Figura 12 a) Vista frontal de la edificación, b) Planta baja edificio de economía, c) Estructura con mampostería retirada para la reconstrucción, d) Columna D2 desprendimiento de hormigón**.** Fuente: Aguiar *et al.* (2016,8).

14. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE DE GRADAS FACULTAD DE INFORMÁTICA)

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón armado	4	Más de 10	Interior	Av. Circunvalación-Av. San Mateo
Tipología		**Falla**		
Vigas y columnas, 2 ejes en sentido transversal, dos en longitudinal.		Presentó separación en las juntas, gran daño en la mampostería debido a que las derivas de piso fueron mayores al 1%, durante el terremoto		
Cimentación		**Observaciones**		
Plintos aislados en cada columna		Losas de entrepiso o descanso de hormigón armado, la última losa actúa como una cubierta, y en este piso las paredes colapsaron. Se recomienda demoler aquella losa y reemplazarla por una estructura metálica.		



c) d)

Figura 13 a) Bloque de gradas; b) Gran separación de juntas en último piso; c) Daño extensivo en mampostería; d) Reparación de paredes con Gypsum**.** Fuente: Aguiar *et al.* (2016,6).

15. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (BLOQUE 3 POSGRADO)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón armado</td><td>4</td><td>< 10</td><td>Esquinero</td><td>Circunvalación-Vía San Mateo</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Vigas de 30x45 y columnas de 45x45, excepto en el tercer piso columnas de 40x40, estructura de hormigón armado con paredes de mampostería.</td><td colspan="3">• Este Bloque Estructural presentó daño en pie de una columna de la planta baja. No se observó más daño estructural.
• Daño entre leve y moderado en la mampostería.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Seguramente vigas de cimentación</td><td colspan="3">Estructura es de 4 pisos por la presencia de un mezzanine construido con una estructura de acero.</td></tr>
</table>


a)


b)


c)

Figura 14 a) Bloque 3 Edificio de Post Grado de ULEAM; b) Daño en mampostería del tercer piso; c) Agrietamiento en enlucido de cabeza de columna. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,4).

16. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (MUSEO – SECRETARÍA GENERAL - RECTORADO)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón armado</td><td>3</td><td>< 10</td><td>Libre</td><td>Circunvalación-Vía San Mateo</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura de Hormigón Armado, irregular en planta y elevación con columnas de pequeña dimensión y vigas pequeñas.</td><td colspan="3">• El mayor daño se dio en el colapso de una grada circular que fue construida apoyada sobre las paredes; al colapsar las paredes el descanso de la grada perdió apoyo y colapsó.
• Daño entre moderado y extensivo en mampostería</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Seguramente vigas de cimentación</td><td colspan="3">Estructura que tenía antes del terremoto problemas de deslizamiento del suelo, por la presencia de arcillas expansivas.</td></tr>
</table>



Figura 15 a) Edificio antes del terremoto, b) Edificio después del terremoto, se aprecia el colapso de la grada con descanso circular apoyada sobre mampostería; c) Mampostería colapsada; d) Vista interior del colapso de escalera.

17. FICHA TÉCNICA UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI (FACULTAD DE COMERCIO EXTERIOR)

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Estructural</td><td>4</td><td>10</td><td>Medianera</td><td>Manta, Av. Circunvalación, Vía a San Mateo, Campus de la ULEAM</td></tr>
<tr><th colspan="3">Tipología</th><th colspan="2">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="3">Presenta un muro en el primer piso en los pórticos 1 y C, cuenta con varios tipos de columnas: en el primer y cuarto nivel secciones de 35/35, en el segundo nivel 2 tipos de columnas de 45/37 y de 37/37 y por ultimo un tercer nivel de 37/37. Las vigas son descolgadas con dimensiones de 30/55 cm en las transversales y de 30/35cm, 25/25 cm en las de menor luz.</td><td colspan="2">Por efecto del sismo uno de los mayores daños observados ocurrió en las paredes internas de mampostería de la edificación, y el daño en las vigas perimetrales del último piso por efecto del movimiento de la estructura del techo.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Cimentación</th><th colspan="2">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="3">Seguramente plintos descolgados</td><td colspan="2">No cumple con principio de columna fuerte-viga débil. Se ha reparado cambiando las paredes de bloques a Gypsum que son livianas.</td></tr>
</table>



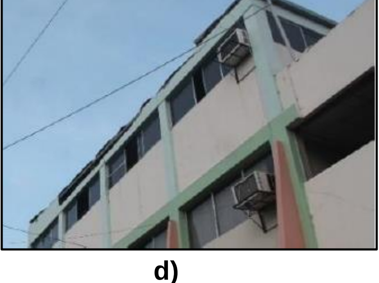
a)



b)



c)



d)



e)

Figura 16 a) Fachada posterior de la Facultad de Comercio Exterior de la ULEAM **b)** Daños en las paredes del descanso de la escalera y daño en el la cubierta; **c)** Daño en la junta de construcción entre la facultad de Comercio Exterior y Economía por efecto del movimiento de los bloque durante el sismo. **d)** Agrietamiento en vigas (Daño en vigas perimetrales de la cubierta) **e)** Daño en vigas del segundo piso. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,7).

18. RESULTADOS

Se realizó el análisis sísmico, en cada una de las 16 estructuras presentadas en los apartados anteriores, ante la componente E-W y N-S del espectro obtenido en la ciudad de Manta, del terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de momento de 7.8. El análisis se realizó en sentido longitudinal (mayor dimensión en planta) y en sentido transversal (menor dimensión).

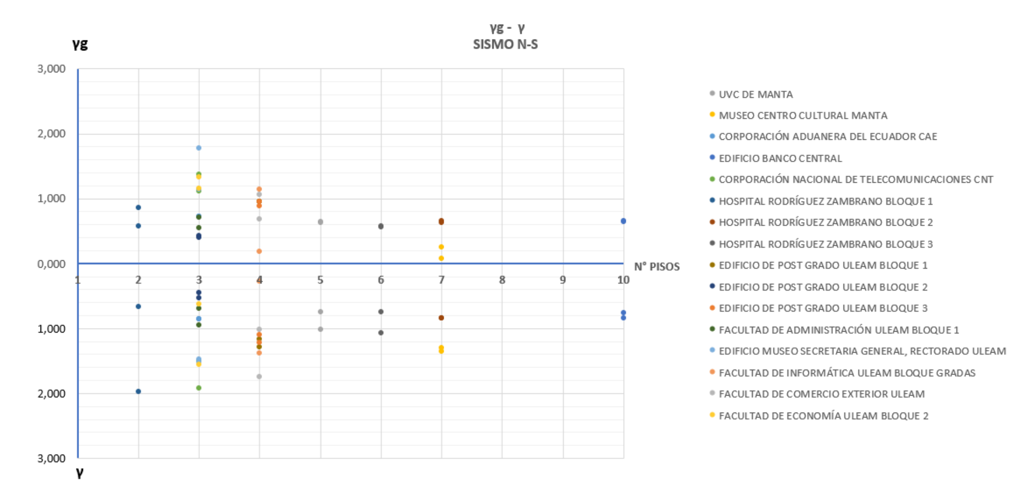


Figura 17 Derivas de Piso γ, y Deriva Global γ_g, respecto al número de pisos. Análisis de sismo en sentido longitudinal y transversal, ante componente N-S.

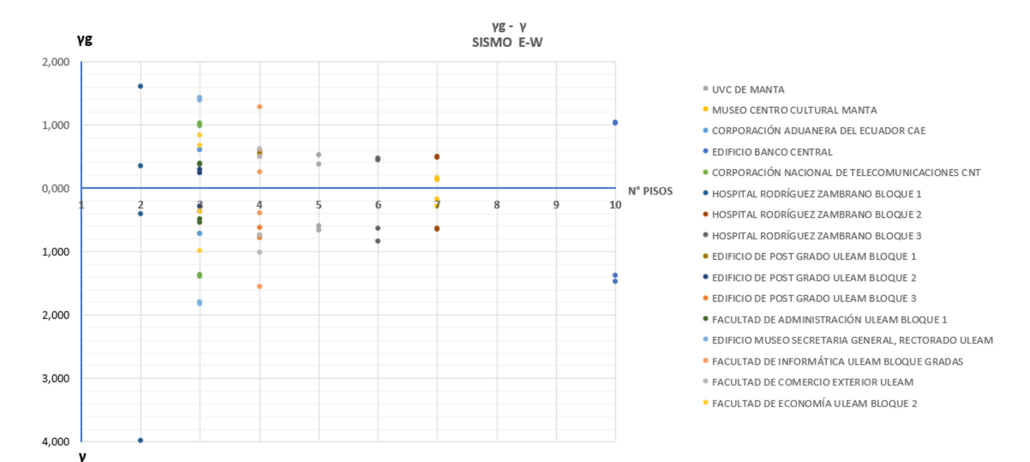


Figura 18 Derivas de Piso γ, y Deriva Global γ_g, respecto al número de pisos. Análisis de sismo en sentido longitudinal y transversal, ante componente E-W.

En las figuras 17 y 18, se presenta en el eje horizontal: el número de pisos y en el eje vertical, se tiene en la parte inferior la deriva de piso γ; y en la parte superior se tiene la deriva global γ_g. Las derivas de piso son menores al 2% estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 pero la mayor parte tiene derivas de piso menores al 1%.

Por cierto, las estructuras de 2, 3 y 4 pisos son las que tienen mayores derivas de piso y por ende las que tuvieron mayor daño; esto está en concordancia con la forma del espectro indicado en la figura 1.

En las figuras 19 y 20, se presenta la relación entre la deriva de piso γ con la deriva global γ_g y se aprecia que la relación es aproximadamente lineal. En la mayor parte de los casos la deriva global es menor que la deriva de piso.

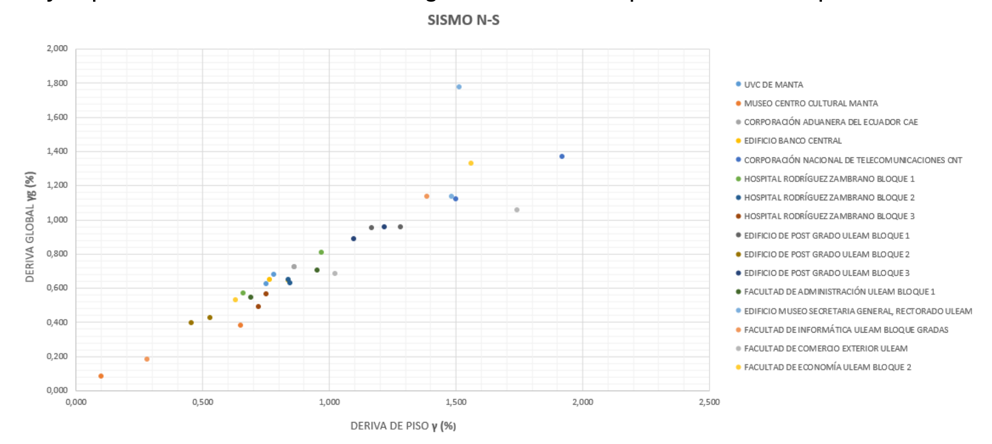


Figura 19 Diagrama Deriva de Piso vs. Deriva Global. Análisis de sismo en sentido longitudinal y transversal, ante componente N-S

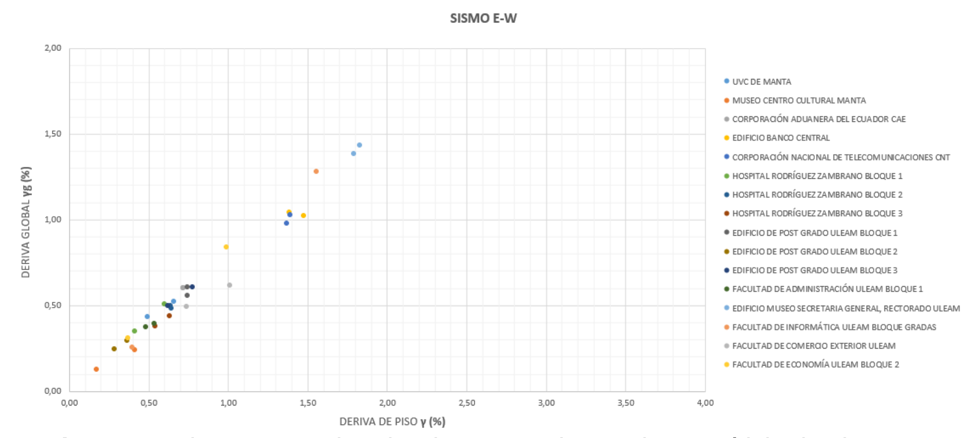


Figura 20 Diagrama Deriva de Piso vs. Deriva Global. Análisis de sismo en sentido longitudinal y transversal, ante componente E-W.

En la tabla 1, se presenta la deriva global máxima y deriva de piso máxima que tuvieron las estructuras analizadas durante el terremoto del 16 de abril de 2016 y se indica el desempeño estructural que tuvieron, de esta manera se entenderá mejor el significado de éstos parámetros de control.

Pero antes es necesario definir la clasificación del daño no estructural (mampostería, plafones) y estructural (vigas, columnas, losa, grada, muros) en: i) Leve; ii) Moderado; iii) Extensivo; iv) Completo.

- **No Estructural**

Leve: Fisuras incipientes en la mampostería.
Moderado: Fisuras generalizadas en las paredes, algunas atraviesan toda la pared.
Extensivo: Rotura de la pared con desprendimiento de material.
Completo: Daño explosivo en las paredes, una buena parte se halla en el suelo con la existencia de grandes áreas sin pared.

- **Estructural**

Leve: Se tienen fisuras incipientes muy difícil de verlas.
Moderado: Daños menores en elementos estructurales que son fácilmente reparables. La intervención de la reparación no implica un costo alto.
Extensivo: Daño considerable en los elementos estructurales, pero en ninguno de ellos se formó rótula plástica. El costo de reparación y reforzamiento será considerable pero bastante menor al costo de la estructura.
Completo: Es probable que la estructura haya colapsado durante el terremoto, si fue mal diseñada. Pero lo más probable es que la estructura tuvo demasiado daño y el costo de reparación y reforzamiento es tan alto que supera o es igual al costo de la estructura antes del sismo.

En la evaluación se utilizará la letra **L,** cuando el daño es local en unos pocos elementos y la letra **G,** cuando el daño es generalizado.

Tabla 1 Derivas y desempeño de estructuras analizadas

Nombre de Estructura	Material	# Pisos	γ_g (%)	γ (%)	Daño	
					No estructural	Estructural
UVC	Acero	5	0.68	0.78	Completo L	Sin daño
Museo	H.A.	7	0.38	0.65	Moderado L	Leve
CAE	H.A.	3	0.72	0.86	Extensivo G	Leve
Banco Central	H.A.	10	1.04	1.47	Completo G	Moderado L
CNT	H.A.	3	1.37	1.92	Extensivo G	Leve
Hospital B1	H.A.	2	0.61	0.73	Moderado L	Leve
Hospital B2	H.A.	6	0.61	1.01	Extensivo L	Leve
Hospital B3	H.A.	6	0.55	0.74	Extensivo L	Leve
Post Grado 1	H.A.	4	0.97	0.83	Extensivo G	Moderado L
Post Grado 2	H.A.	3	0.39	0.48	Completo L y G	Leve
Post Grado 3	H.A.	4	0.93	1.25	Extensivo G	Moderado L
Administración	H.A.	3	0.71	0.95	Extensivo G	Moderado G
Rectorado	H.A.	3	1.78	1.51	Completo L	Completo L
Informática Grada	H.A.	4	1.18	1.38	Extensivo G	Leve L
Comercio	H.A.	4	1.06	1.74	Completo G	Moderado L
Economía	H.A.	3	1.33	1.56	Completo G	Moderado L

19. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se ha analizado 15 estructuras de hormigón armado y una de acero, ubicadas en la ciudad de Manta y que fueron afectadas por el terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de 7.8. En este artículo se ha presentado

una ficha técnica de cada una de ellas y los resultados que se obtuvieron del análisis sísmico en términos de deriva de piso y deriva global.

Es importante conocer la relación que existe entre estos parámetros que se utilizan, para controlar un diseño estructural y el desempeño que tuvieron durante el terremoto. Este es el primer trabajo que realiza el primero de los autores razón por la cual no se emiten conclusiones pero el lector al observar la tabla 1 ya puede darse cuenta de que desempeño tendría la estructura que está diseñando en función de la deriva global o de la deriva de piso.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., García L., Menéndez E., (2016, 1), *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía. Terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016.* Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, Primera Edición, 287 p. Quito.

2. Aguiar R, Hinostroza M., Zambrano L., (2016,2), "Comportamiento estructural del Bloque uno de edificio de Post grado durante el terremoto del 16 de abril de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 381-392. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

3. Aguiar R., Cedeño G., Lucas C., (2016,3), "Comportamiento del Bloque dos del edificio de Postgrado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí afectada por el terremoto de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 393-405. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

4. Aguiar R., Loor N., Zambrano D., (2016,4), "Comportamiento del Bloque Estructural tres del edificio de Post Grado de la ULEAM durante el terremoto del 16 A", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 407-420. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

5. Aguiar R., Barberán J., (2016,5), "Análisis del Bloque uno de la Facultad de Administración de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí afectada por el terremoto de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 421-433. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

6. Aguiar R., Delgado H., (2016,6), "Rehabilitación del Bloque de Gradas de la Facultad de Informática en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí afectada por el terremoto de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 451-465. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

7. Aguiar R., Ferrín A., Pilligua M., (2016,7), "Comportamiento del Bloque estructural de la Facultad de Comercio Exterior de la ULEAM durante el terremoto del 16 de abril de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 467-479. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

8. Aguiar R., Delgado F., Manzaba J., (2016,8), "Análisis sísmico del Bloque 2 de la Facultad de Economía de la Universidad Laica Eloy Alfaro de

Manabí afectada por el terremoto de 2016", *Revista Ciencia,* **18, 4,** 481-495. www.revista_ciencia.espe.edu.ec

9. Aguiar, R., & Mieles, Y. (2016). Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 21*(3), 257-282. Disponible en: www.riie.espe.edu.ec

10. Godínez E., Tena A., (2017), "Factores de reducción por sobre resistencia para marcos dúctiles de concreto reforzado con contraventeo metálico tipo Chevrón", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* 22 (1), 57-70. www.riie.espe.edu.ec

11. Miranda E., (2000), "Inelastic displacement ratios for structures on firm sites", *Journal of Structural Engineering,* **126 (10),** 1150-1159.

12. Nangullasmú H., Tena A., (2017), "Modelado de disipadores histeréticos de energía en estructuras de concreto reforzado. Diferencias entre análisis en el plano y en tres dimensiones", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* 22 (2), 135-162. www.riie.espe.edu.ec

13. NEC-15 (2015) *Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente.* 138 p. Quito.

14. Rodríguez M., (2015), "Evaluation of a proposed damage index for a set of earthquakes", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics,* **44**, 1255-1270.

15. Tena A., Juárez G., Ruiz M., Hernández H., Archundia H., (2017), "Revisión de la seguridad sísmica de un edificio de concreto reforzado en mediana altura fuertemente irregular existente en la ciudad de México", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* 22 (3), 281-326. www.riie.espe.edu.ec